

Kaltumformung eines Ventildfedertellers

Prozeßoptimierung mit Hilfe der FEM - Simulation

G.H. Arfmann, M. Twickler, M. Corbet *)

Die FEM (Finite Elemente Methode) ist als Hilfswerkzeug in der Konstruktionsabteilung eines Kaltumformbetriebes heute Stand der Technik. Der vorliegende Beitrag beschreibt den Einsatz der FEM bei der Auslegung eines Fertigungsprozesses zur Herstellung eines Ventildfedertellers. Es handelt sich hierbei um einen mehrstufigen Prozeß (Bild 1).

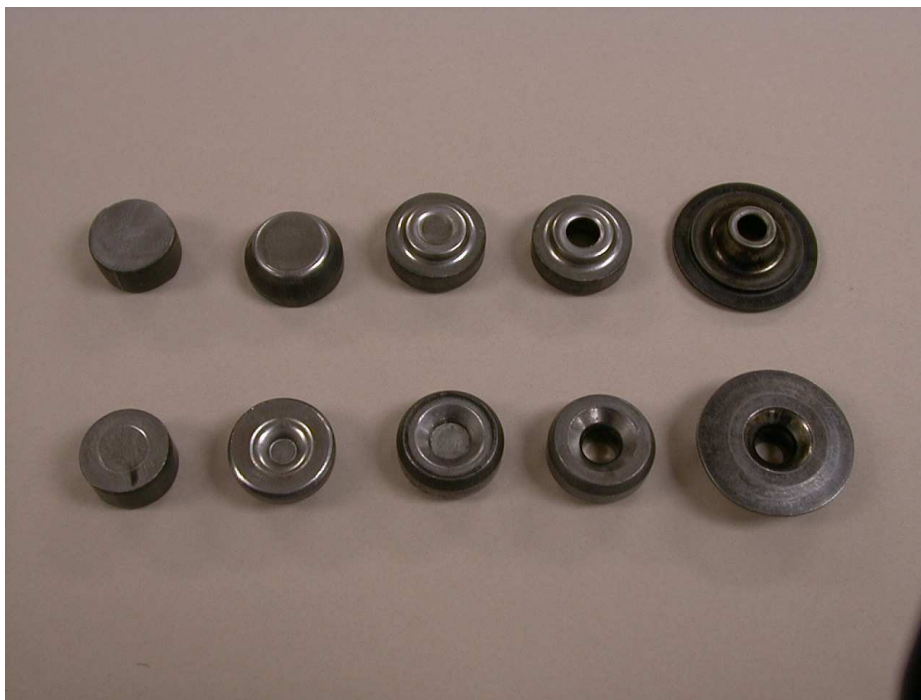


Bild 1: Stadiengang zur Fertigung eines Ventildfedertellers [5]

Die Umformstufen sind so abzustimmen, dass nicht nur die Geometrie erreicht wird, sondern auch gute Werkzeugstandzeiten erzielt werden. Nur so ausgelegte Prozesse können angesichts des heutigen Konkurrenz- und Kostendrucks unter Einhaltung guter Qualität erfolgreich und profitabel eingesetzt werden.

*)

G. H. Arfmann, M. Twickler Geschäftsführende Gesellschafter der CPM Gesellschaft für Computeranwendung, Prozeß- und Materialtechnik mbH, Herzogenrath

M. Corbett

Production Director, Kinnings Marlow Ltd, Wednesbury

Vorgeschichte

Noch vor zehn Jahren war die gängige Vorgehensweise zur Auslegung eines Umformprozesses das sogenannte „Trial and Error“ – Verfahren. Hierbei wurden Prozesse aus Erfahrung entworfen. Dann wurden Werkzeuge gefertigt und getestet. In der Regel führte die Erstauslegung bei neuen Teilen nicht direkt zum Erfolg. Neben erforderlichen Anpassungen und Änderungen bei Teilen, die zumindest in ähnlicher Form schon bekannt waren, wurden bei komplizierten Neuteilen oft gänzlich andere Auslegungen erforderlich.

Diese Methode mit ihrem ständigen Ändern und Anpassen verursachte erhebliche Kosten für Werkzeuge und Versuche. Oft wurden auch lediglich „lauffähige“ Prozessauslegungen gefunden bzw. akzeptiert, da das Suchen nach optimierten Prozessvarianten aufwändig war und oftmals auch keinen Erfolg erzielte und damit ein erhebliches Kostenrisiko darstellte.

In den 80er Jahren wurde intensiv an dem Einsatz der FEM in der Umformtechnik geforscht. Die aus der Literatur bekannten Grundverfahren wurden hierzu weiterentwickelt und spezielle Algorithmen z.B. zum Beschreiben des Reibverhaltens und zur Netzneugenerierung während großer Verformungen (Remeshing) entwickelt. Diese Forschungen mündeten Ende der 80er Jahre in der Entwicklung von Systemen für die Umformtechnik. Bereits Ende 1989 kam auch schon ein in PC-Umgebung lauffähiges System auf den Markt [1].

In den 90er Jahren wurden die FEM Systeme weiterentwickelt und den Anforderungen der Industrie entsprechend komfortabler und einfacher zu handhaben. Auch wurden durch entsprechende Einrichtungen [2] die erforderlichen Materialdaten (Fließkurven) ermittelt und verfügbar gemacht. Wenn hier auch immer noch ein Ergänzungsbedarf [3] existiert, so lassen sich mit den vorhandenen Werkzeugen und Daten bereits praxisrelevante Simulationen durchführen.

Vorteile des Einsatzes der FEM

Der Vorteil des Einsatzes der FEM besteht nicht nur darin, dass der Konstrukteur nunmehr ohne großes Kosten- und Zeitrisko verschiedenste Prozessauslegungen am Rechner erproben kann ohne auch nur ein Werkzeug gebaut zu haben, sondern auch darin, dass die FEM eine Vielzahl von Prozeßkenngrößen verfügbar macht, die in der Vergangenheit bestenfalls spekulativ in Betrachtungen zur Prozessauslegung eingingen. Hierzu gehören z.B. der genaue Stofffluß (Geschwindigkeitsverteilung) oder auch die Belastung der Werkzeuge (Spannungsverteilungen) während des Prozesses.

Mit Hilfe der FEM können diese Prozeßgrößen analysiert werden und zur Beurteilung einer Prozessauslegung herangezogen werden. Dies eröffnet völlig neue Perspektiven zur Optimierung einer Prozessauslegung.

Da die FEM dank rasanter Entwicklung im PC Bereich keine sehr zeitaufwendige Angelegenheit mehr ist, kann sie nicht nur zur Prozessauslegung, sondern auch produktionsbegleitend zur Fehleranalyse und Behebung eingesetzt werden.

Optimierung der Fertigung eines Ventildfedertellers

Im zu beschreibenden Fall wurde die Fertigung eines Ventildfedertellers auf eine andere Maschine verlagert. Zunächst wurde ausgehend von der Erfahrung der Konstrukteure eine erste Auslegung direkt umgesetzt (Bild 1). In der Produktion zeigte sich aber bald, dass der Stempel in Umformstufe fünf vorzeitig durch Bruch versagte (Bild 2).



Bild 2: Im Konus gebrochener Stempel [5]

Dieses Versagen war überraschend und aus Erfahrung nicht vorhersehbar gewesen (weshalb die Auslegung auch nicht mit FEM kontrolliert wurde.).

Eine dann vorgenommene FEM Analyse [4][5] zeigte einen aus umformtechnischer Sicht guten Stadiengang. Allerdings traten bei der Analyse des Stempels lokale Spannungsspitzen im Bereich des Konus zu Tage.

Zum einen „wandert“ eine hohe Druckbelastung längs des Konus während dieser in das Bauteil eindringt (Bild 3); zum anderen stellt sich eine sehr inhomogene Spannungsverteilung gegen Ende der Verformung ein.

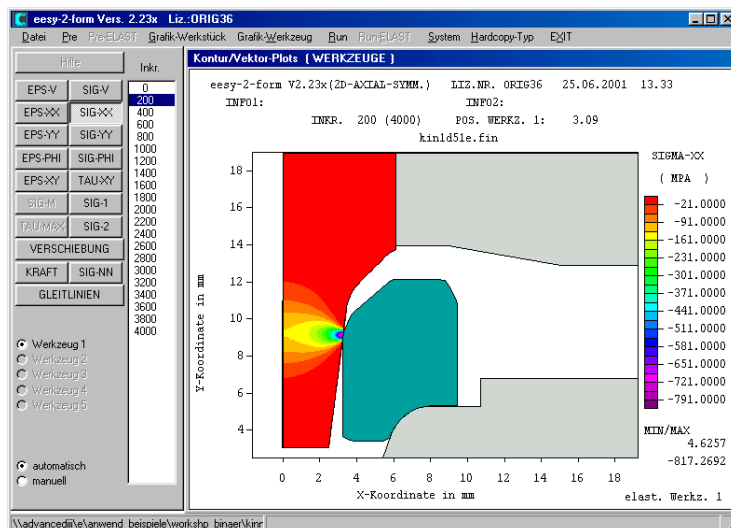


Bild 3: σ_{xx} während des Eindringens des Stempels

Die axiale Spannung σ_{yy} zeigt hier eine Verteilung, die an der Stempeloberfläche zwischen sehr hohen negativen und positiven Werten variiert (Bild 4). Im Bereich dieser positiven σ_{yy} Werte erreicht die radiale Spannung σ_{xx} (Bild 5) nahezu den Wert 0 N/mm^2 . Die Schubspannung τ_{xy} (Bild 6) zeigt in diesem Bereich eine stark alternierende Verteilung.

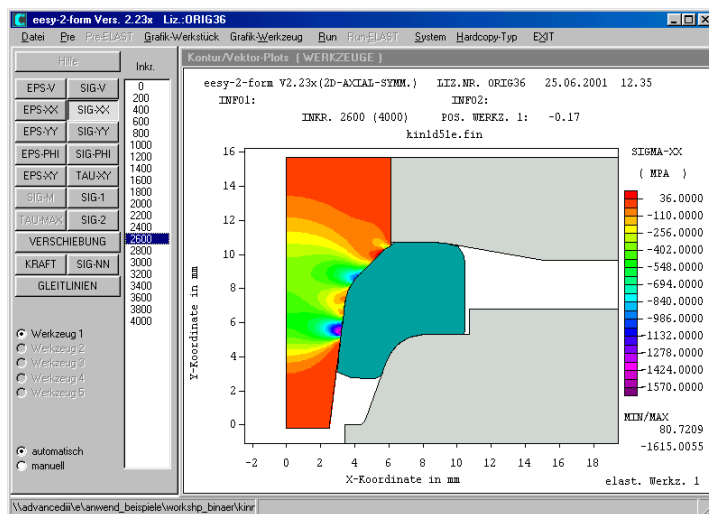


Bild 4: σ_{yy} – Verteilung im Stempel gegen Ende der Verformung

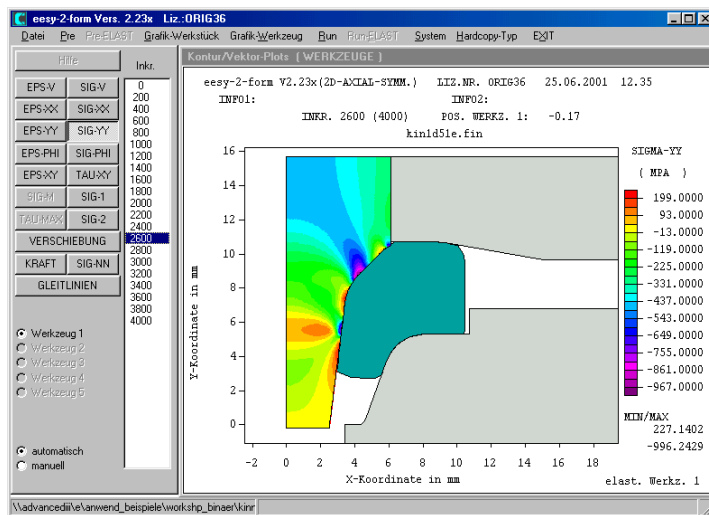


Bild 5: σ_{xx} – Verteilung im Stempel gegen Ende der Verformung

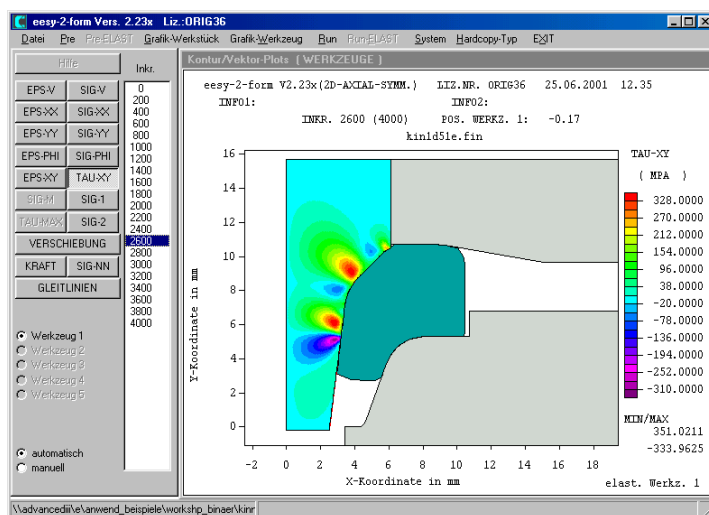


Bild 6: τ_{xy} – Verteilung im Stempel gegen Ende der Verformung

Die Lage dieses auffälligen Spannungszustands direkt unterhalb vom Übergangsradius genau an der am Stempel vorhandenen Bruchstelle im Konus (Bild 2) legte den Schluß nahe, dass das frühzeitige Versagen des Stempels auf diese pulsierend auftretende Spannkonzentration zurückzuführen war. Gleichzeitig konnte bei der Auswertung der Rechnungen erkannt werden, dass sich diese Spannungen nur solange derart ausbilden als sich das Material noch nicht in den Absatz im Unterwerkzeug eingeformt hat.

Diese Erkenntnis lieferte dann auch den Ansatz zur Optimierung des Prozesses. Die Vorform zur dritten Stufe wurde neben anderen Änderungen flacher und breiter gestaltet, so dass das Fließverhalten beim Einformen in Stufe fünf zu einer homogenen Lastverteilung am Stempel führte. Bild 6 zeigt hierzu die Verteilung von τ_{xy} .

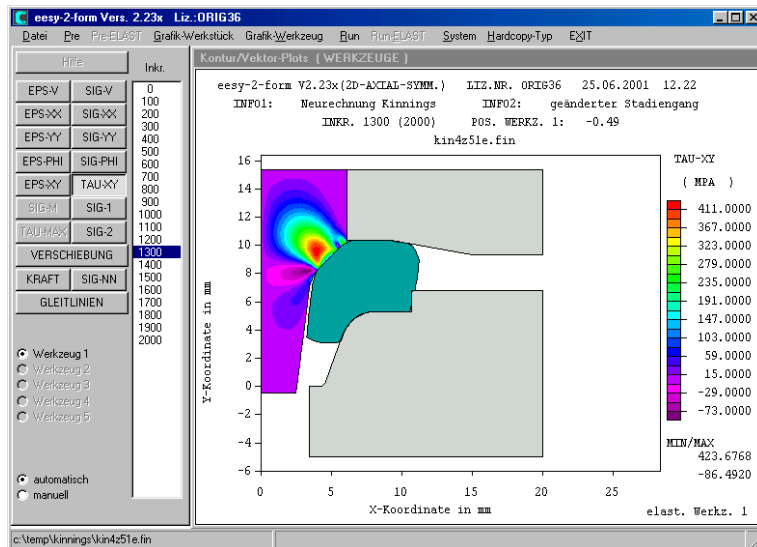


Bild 6: τ_{xy} – Verteilung im Stempel während der Verformung –optimierte Version

Die Werkzeugstandzeit konnte durch diese Änderungen fast verzehnfacht werden. Damit konnte eine gleichmäßigere Qualität des Produktes erreicht und neben den Kosten für die Werkzeuge selbst nicht zuletzt auch Zeit (und Geld) für den Werkzeugwechsel gespart werden.

Schlussfolgerungen

Das Beispiel hat gezeigt, dass die FEM heute als zuverlässiges Werkzeug bei der Prozessauslegung eingesetzt werden kann. Durch Variationen am Bildschirm können Prozesse optimiert und Kosten gespart werden. Die heute verfügbaren Rechnerkapazitäten erlauben selbst den Produktionsbegleitenden Einsatz solcher Simulationssysteme. Die FEM erlaubt dabei ein genaueres Prozessverständnis als konventionelle Methoden, da Sie ein detaillierteres Prozessabbild liefert. Der Konstrukteur kann durch Auswertung und Interpretation der Ergebnisse neue interessante Wege bei der Prozessauslegung finden und optimierte Prozesse auf dem Simulator bis zur Produktionsreife entwickeln.

Literatur

- [1] G. H. Arfmann, M. Twickler
CAPS-Finel
Programmbeschreibung
CPM GmbH, Herzogenrath, 1989

- [2] CPM Materialdatenzentrum
Informationen zum Leistungsspektrum
CPM Materialdatenzentrum GmbH, Herzogenrath, 1998

- [3] G. H. Arfmann
Forge-Net Workshop
“Nuevas Tecnologias aplicadas a Procesos de Forja”
Presentation of Cluster 3 activities
3rd Workshop, Bilbao, Spain, 2001

- [4] eesy-2-form
Benutzerhandbuch
CPM GmbH, Herzogenrath, 1999

- [5] P. Standring
Tooling and Process Improvement to a Multi-Station Machine for the
Production of Cold Formed Components
Proceedings of the 1998 Forging & Fastener Industry Technical
Conference, Droitwich, UK, 1998